

修 士 論 文 の 和 文 要 旨

研究科・専攻	大学院 情報システム学研究科情報メディアシステム学専攻博士前期課程		
氏 名	平川 幹	学籍番号	1250034
論 文 題 目	相手のプレイスタイルによって戦術の選択が可能なエアホッケーロボットの開発		
<p>要 旨</p> <p>近年、ロボットは工場などの生産の現場などにとどまらず、人間により近い場所での活動が増えてきており、私達の一般社会において、より身近な存在になりつつある。</p> <p>そして、ロボットがより人間と近く、親しみのある存在になるために、エンターテインメントロボットの存在が増えている。実際に、経済産業省はスポーツロボットの存在を快適な生活の実現に貢献し、将来の日本の技術戦略の一つにあげており、スポーツロボットの開発は、今後のロボット開発の命題の一つになっている。</p> <p>本研究室ではその一環として、娯楽性を追求したエアホッケーロボットの開発を目的とし、研究を進めてきた。その中で、様々な対戦アルゴリズムや、戦術が開発されてきたが、それぞれの対戦アルゴリズムや戦略は相対的にそれぞれどのような関係にあるのかは、あまり調べられてはいない。</p> <p>相対的な特性を評価するためには戦術同士が対戦する必要があるが、人間には慣れや、癖が存在するため、正確に評価することは難しく、また、多人数の協力や、長い時間を必要とする。そこで、一定の強さで、手軽に評価することのできるシステムが必要である。</p> <p>本研究では、上記の視点から、ロボットとロボットを戦わせることのできるシステムの実現をし、複数の戦術の関係性、つまり戦術同士の得意不得意や、ラリーが長くなる組み合わせなどを発見することを目標とした。汎用マニピュレータである PA10 にエアホッケー動作を行わせるようにシステムを開発し、実機実験を行った。</p>			

平成 25 年度修士論文

相手のプレイスタイルによって戦術の選択 が可能なエアホッケーロボットの開発

大学院情報システム学研究科
情報メディアシステム学専攻

学 籍 番 号 : 1250034
氏 名 : 平川 幹
主任指導教員 : 末廣 尚士 教授
指 導 教 員 : 工藤 俊亮 准教授
指 導 教 員 : 田野 俊一 教授
提出年月日 : 平成 26 年 02 月 21 日

目 次

第 1 章	緒言	5
1.1	研究背景	5
1.2	関連研究	6
1.3	研究目的	7
1.4	論文構成	7
第 2 章	対戦戦術	8
2.1	動作の分類分け	8
2.2	ロボットへの適応	9
2.2.1	ロボットに行わせる動作	9
2.2.2	戦術の分類分け	10
2.2.3	まとめ	12
第 3 章	エアホッケーロボットシステム	13
3.1	ハードウェア構成	13
3.1.1	ロボットアーム	14
3.2	システム構成	21
3.2.1	コンポーネント構成	21
3.3	まとめ	24
第 4 章	実験	25
4.1	シミュレータ上での動作実験	25

4.2	エアホッケーシミュレーションでの実験	25
4.2.1	エアホッケーシミュレーションでの実験結果	25
4.3	実機実験	27
4.3.1	特異点の回避	27
4.3.2	PA10 の速度制限	28
4.3.3	PA10 のホッケー台上でのキャリブレーション	28
4.3.4	PA10 と 2 関節ロボットとの対戦	28
4.3.5	実機実験結果	29
4.4	まとめ	29
第 5 章	結言	30

目 次

2.1	攻撃動作	9
2.2	防御動作	10
2.3	無視動作	10
2.4	防御的戦術	11
2.5	安定的戦術	12
3.1	ホッケー台の座標	13
3.2	高速カメラ	14
3.3	2 関節ロボットアーム	15
3.4	PA10 の概略図	16
3.5	台車の上に乘った PA10	18
3.6	開発した長い手先	19
3.7	新しく開発した手先	20
3.8	測域センサ	20
3.9	コンポーネント接続図 (PA10 ホッケー)	21
3.10	コンポーネント接続図 (キャリブレーション)	22
3.11	コンポーネント接続図 (2 関節ロボット)	22
4.1	エアホッケーシミュレーション	26
4.2	特異点に入った PA10	27
4.3	ロボット同士の対戦	28

表 目 次

3.1 PA10 の仕様	17
3.2 コンポーネントの内容	23

第1章 緒言

1.1 研究背景

近年，ロボットは工場などの生産の現場などにとどまらず，人間により近い場所での活動が増えてきており，私達の一般社会において，より身近な存在になりつつある．そして，ロボットがより人間と近く，親しみのある存在になるために，エンターテインメントロボットの存在が増えつつある．エンターテインメントロボットとは，人間を楽しませることを目的としたロボットであり，ペット型ロボットや，踊りを踊るロボットなどの存在があげられる．エンターテインメントロボットの中でもスポーツロボットは，人間が楽しんで体を動かすため，健康的な生活に貢献する．実際に，経済産業省はスポーツロボットの存在を快適な生活の実現に貢献し，将来の日本の技術戦略の一つにあげておりスポーツロボットの開発は，今後のロボット開発の重要な位置付になっている．本研究室ではその一環として，娯楽性を追求したエアホッケーロボットの開発を目的とし，研究を進めてきた．本研究室以外でもヒューマノイド型 [1] や，産業用ロボットアームなど様々な形でエアホッケーロボットの開発が行われており，様々な対戦アルゴリズムや，戦略が開発されてきた．その中で，ゲーム状況により動作を選択できるエアホッケーロボットが開発されている [2]．しかし，その動作の選択基準は人間の主観によって定義されている．そこで，動作同士，また戦術同士の有利不利を調べ，それに基づいた選択基準を設けることで，戦術によりエアホッケーの強弱の調整のできるロボットをつくることができる．相対的な特性を評価するためには戦術同士が対戦する必要があるが，人間には慣れ，癖が存在するため，正確に評価することは難しく，また，多人数の協力や，長い時間を必要とする．そこで，一定の強さで，手軽に評価することのできるシステムが必要である．本研究では，上記の視点から，ロボットとロボットを戦わせるこ

とのできるシステムの実現をし，複数の戦術の関係性，つまり戦術同士の得意不得意を発見することを目標とした．

1.2 関連研究

エアホッケーロボットに関する研究は数多くなされており，ロボットの性能向上やエンターテインメント性の向上において高い成果をあげている．エアホッケーロボットシステム全般における研究では，Bishop らは視覚システムを用いたエアホッケーロボットについて，ホッケー台上における摩擦やパック自体の回転がパックの軌道にどのように影響を与えるかを調査し報告した [3]．Iguchi ら，Partridge らはパックの衝突や摩擦の物理シミュレーションを行うシステムを開発し報告した [4] [5]．覺張らは人間と同等に対戦可能なロボットシステムの開発を目的として，攻撃動作や防御動作を高速に行うことができるエアホッケーロボットを開発・提案した [6] [7] [8]．牧野らはエアホッケー台上を移動するパックの軌道を高精度で把握するための視覚システムを提案し，ロボットアームとの協調動作を実現した [9] [10] [11]．攻撃戦略に関する研究では，那順らは攻撃能力を向上させエンターテインメント性を向上させることを目的として，ツクバ打ちという打ち返し方を提案した [12] [13]．御堂丸らは新たな対戦方法としてロボット側に向かってくるパックを一旦止める，止め打ち動作を実装した [14] [15] [16]．佐藤らはロボットが対戦相手の打ち方を学習し真似をするアルゴリズムを提案した [17] [18] [19]．Wang ら，Delgado らはファジィ制御を用いてエアホッケーロボットの動作生成をする手法を提案した [20] [21]．Bentivegna らはプレイヤーのプリミティブな動作の観察学習によって，エアホッケーロボットの動作生成をする手法を提案した [22]．小川らはプレイヤーの視線の動きを観察することによって，プレイヤーの視線とミスの関係性を調査した [23] [24]．松下らはロボットの運動能力と判断能力を調整することにより，対戦相手のレベルに応じて強さを変更可能なロボットシステムを提案し有効性を検証した [2] [25]．また，エンターテインメント性に関する研究では，Arai らは高速カメラでパックをトラッキングし，予想軌道ラインを台にプロジェクションすることによって，プレイヤーの軌跡予測をサポートするシステムを提案した [26]．Muller ら，Matsuura らはネットワーク越しに実機

のエアホッケーやバーチャルエアホッケーで対戦するシステムを開発・報告した [27] [28]. Oshima らは AR とヘッドマウントディスプレイで, Flores らはテーブルディスプレイでバーチャルエアホッケーを行うシステムを開発し報告した [29] [30].

本研究は, 人間のエアホッケープレイ時の特徴動作に基づく戦略分類を行い, 評価を行いたいエアホッケーアルゴリズムと分類された各戦略の相性を評価指標の一つとして利用することを提案するものである.

1.3 研究目的

異なる戦術同士を戦わせることで, 相性によりある一つの戦術に対して有利な戦を見つけ出すことを目的としている. 戦術により強弱を調整できるようにすることで, エンターテインメント性の高いエアホッケーロボットになる. 本研究では人またはロボットが行う戦術を人間が行う動作から分類する. その分類に基づいてつくられた戦術同士をロボットで戦わせる. そこから戦術同士の有利不利を見つける.

1.4 論文構成

本論文の構成は以下の通りである. まず第2章では, 人間の戦術の分類と, この戦略に基づくエアホッケーの動作生成の内容について述べる. 第3章では, 本研究が使用しているエアホッケーロボットシステムについて述べる. 第4章では, ロボット同士の対戦実験について述べる. 最後に第5章では, 本論文のまとめおよび今後の課題について述べる.

第2章 対戦戦術

本研究では，戦術の違い毎の相性を利用する．そこで，エアホッケーにおける人間の行動を分類し，その分類を基に戦術を作成する．これにより，人間が行う戦術をロボットに置き換えてモデル化することができると考えた．本章では，人間の動作の分類と開発した戦術について述べる．

2.1 動作の分類分け

エアホッケーにおいて，人間が行う動作のうち，次のような動作に分類し注目する．

- ・ 攻撃動作

相手の方向にマレットを動かし，パックを加速させる．

- ・ 防御動作

パックから自分のゴールをマレットで防ぎ，失点を防ぐ．

- ・ 無視動作

自分のゴールにパックが来ないと判断し，無視する．

- ・ 止め打ち動作

向かってきたパックを止め，次の攻撃動作を行う．

2.2 ロボットへの適応

2.2.1 ロボットに行わせる動作

- ・ 攻撃動作

向かってきたパックに対し反対方向のベクトルにマレットを加速させる．その様子を図 2.1 に示す．

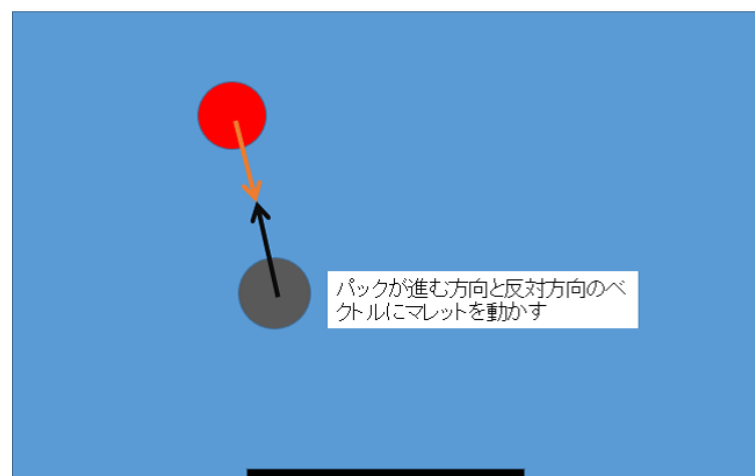


図 2.1: 攻撃動作

- ・ 防御動作

パックが進む予測位置でマレットを待機させる．その様子を図 2.2 に示す．

- ・ 無視動作

パックの予想軌跡がゴールよりも外にあり，ゴールにはいないと判断した時にマレットを構え位置で待機させる．その様子を図 2.3 に示す．

- ・ 止め打ち動作

ロボットが自分の陣地で 2 回以上動作を行う必要があり，他の動作とは性質が異なるため今

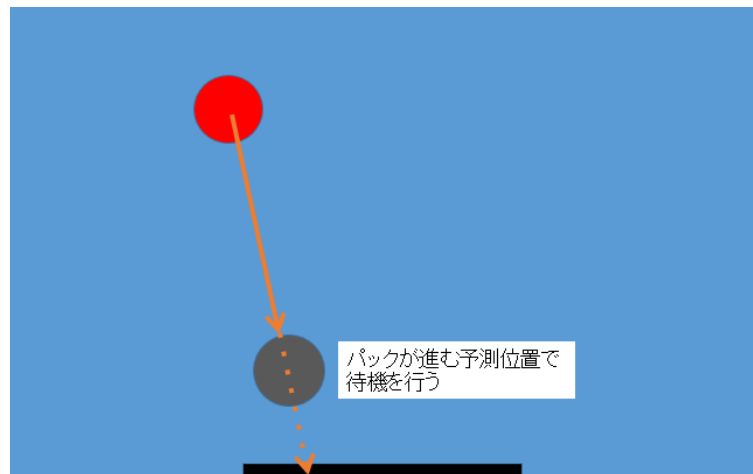


図 2.2: 防御動作

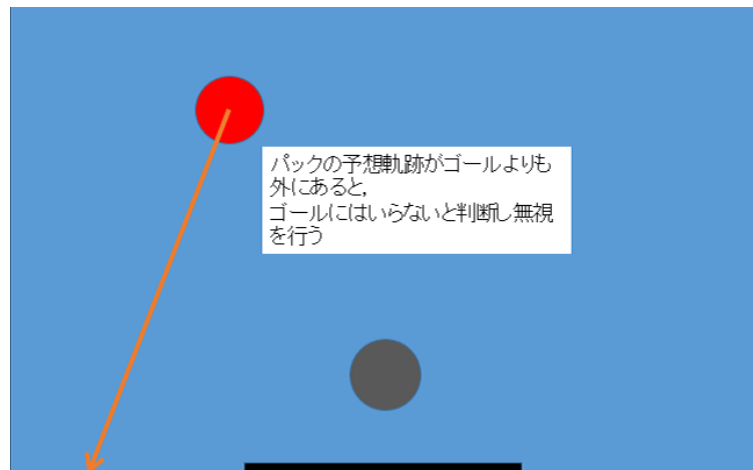


図 2.3: 無視動作

回は使用しない.

2.2.2 戦術の分類分け

先に述べた3つの動作を組み合わせることにより以下の3つをロボットに行わせる戦術として提案した.

- ・ 攻撃的戦術

攻撃的とは攻撃動作をメインとして行い、相手が打ちきれないなどのミスを誘い、敵の陣地

にゴールすることを目的としている．本研究では，すべて攻撃動作を行うと共に，テニスなどでは前衛とされるプレイヤーのように，より敵に近い位置 (自分のゴールから 0.3m) で打ち返しを行うことにより，相手の反応より早く攻撃動作が行い，打ち返しきれないショットを目指す攻撃動作を作成した．

・ 防御的戦術

防御的とは，自分のゴールを徹底的に守り，失点を防ぐことが強さになるプレイヤーである．本研究では，ゴールに近い位置 (自分のゴールから 0.17m) で，横はゴールよりも少し広い範囲 (中心から 0.8m の範囲) で防御動作を行う．パックの移動速度にマレットが間に合えば，ゴールを守ることができる．相手からくるパックが遅い (2m/s 以下) 場合には打ち返し動作を行う．その様子を図 2.4 に示す．

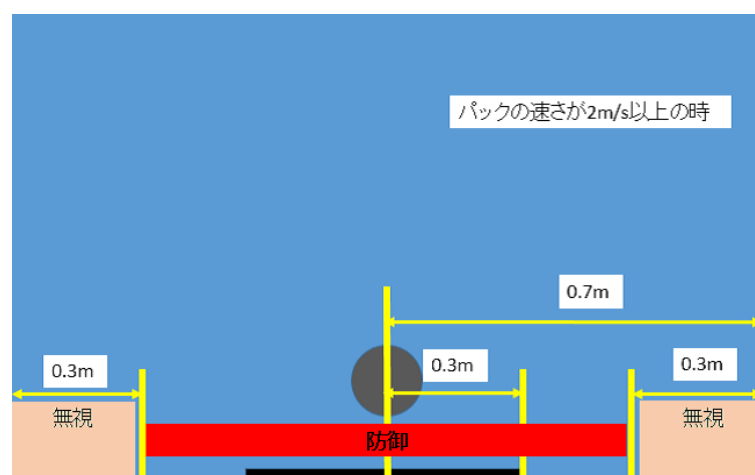


図 2.4: 防御的戦術

・ 安定的戦術

安定的とは，あまり動かずに，パックにマレットが追いつけずに，失点してしまうことを防ぐ戦術である．自分のゴールの範囲を狙うパックのみを防御し，来ないと判断すると無視動作を行う．自分に向かうパックが遅い (2.5m/s 以下)，または構え位置の近くに来ると判断した場合は攻撃動作を行う．その様子を図 2.5 に示す．

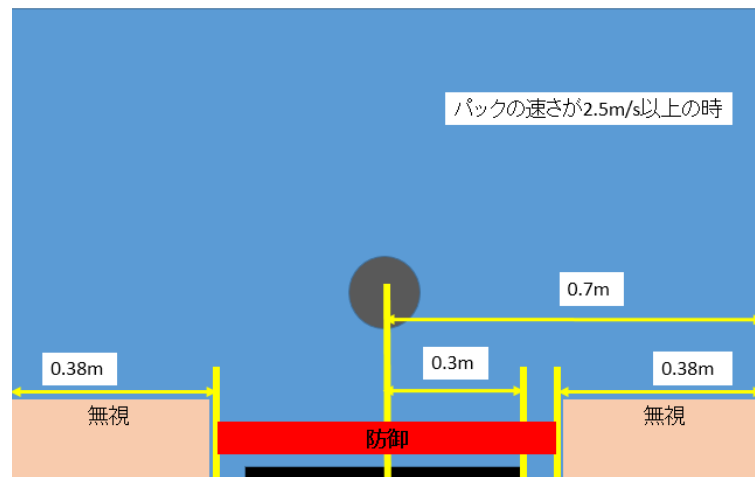


図 2.5: 安定的戦術

2.2.3 まとめ

人間の動作の観察を行い，動作を分類し，それを基にエアホッケーロボット用の動作と戦術を作成した．

第3章 エアホッケーロボットシステム

3.1 ハードウェア構成

本研究室には，過去に開発されたエアホッケーロボットシステムが存在する．本研究ではロボット同士によるパックの打ち合いを行うために，水平2関節のロボットアームに加え，新たな汎用マニピュレータを用いる．全体の座標系を図 3.1 に示す．ホッケー台の y 座標負端には水平2関節のロボットアーム， y 座標正端には汎用ロボットアームが設置されている．

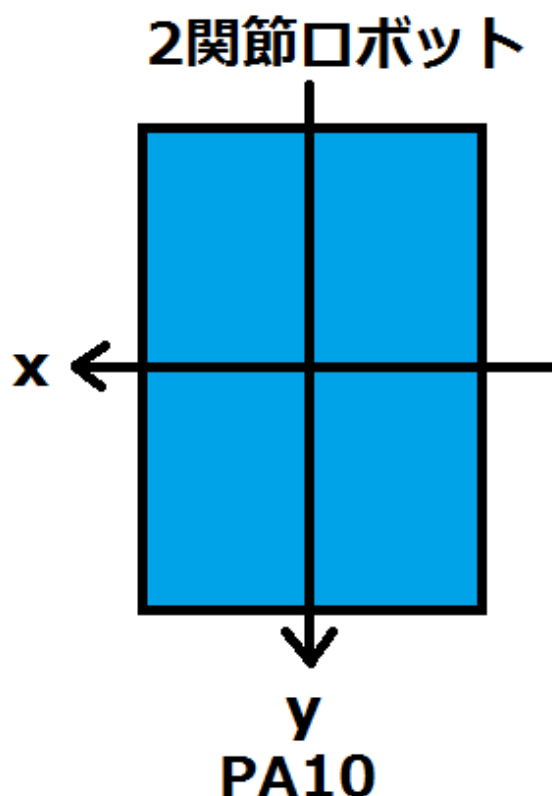


図 3.1: ホッケー台の座標

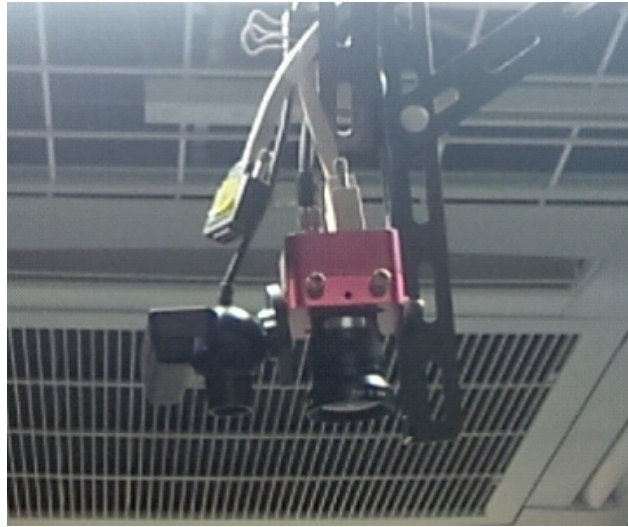


図 3.2: 高速カメラ

また， x 座標負端には測域センサ， x 座標正端には，シャッター速度が早いために暗くなってしまうカメラ画像の明るさを上げるための電球型蛍光灯 (100[V]/36[W]) が計 10 灯配置されている．そして，ホッケー台座表原点付近天井部にはパックの位置を検出するための高速カメラが図 3.2 のように設置されている．

3.1.1 ロボットアーム

本研究では2種類のロボットアームを用いて実験を行う．一つは本研究室で従来から使われているエアホッケー台に固定された2関節のロボットアームである．もうひとつは新たに設置した移動可能な7関節の汎用ロボットアーム PA10 である．各構成について以下に述べる．

2 関節ロボットアーム

固定ロボットアームは水平2関節のものをを用いている図 3.3．肩軸は 400[W] のモータ (MSM041A1,Panasonic) を減速比 1:25 で，肘軸は 100[W] のモータ (MSM011A1,Panasonic) を減速比 1:15 にて使用しており，非常に高速で駆動する．

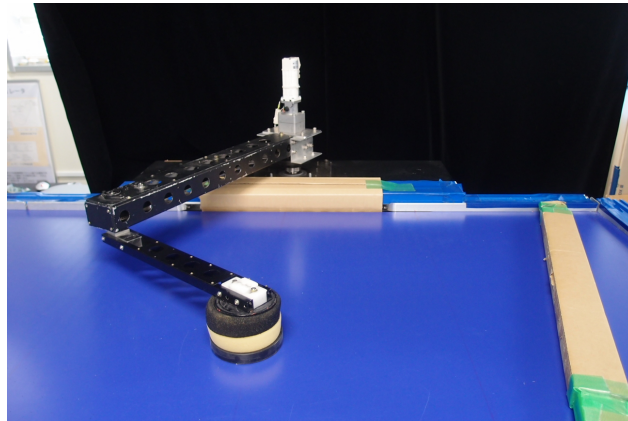


図 3.3: 2 関節ロボットアーム

汎用ロボットアーム PA10

ロボットアームの概略図を図 3.4 に，仕様を表 3.1 に示す．

台座にはジャッキ機能付きの台車 (LT-400-8L) を使用し，移動可能とすることで，プレイヤーとロボットの入れ替えができるようにしている．台車に乗った PA10 を図 3.5

またジャッキ機能が付いていることにより，マレットがホッケー台の端に引っかかることなく移動できる．

汎用ロボットアーム PA10 用の手先アダプター

ロボットアームの手先にマレットを装着するための手先アダプターについて述べる．最初に試作したアダプターを図に示す．本研究ではエンターテインメント性のために，より早くパックを打ち返すことは必要であると考える．表より PA10 の仕様では手先の速度が一番早い ($360 [\text{deg/s}]$) ため，この速さを利用し，打ち返しを行えば十分な速度が出せると判断した．試作したロボットアームの手先を図 3.6 に示す．

PA10 を移動した際に発生するジャッキの高さの誤差，またホッケー台の歪みを許容するために，下に押し付けるバネの役割としてスポンジを取り付けている．

しかし，PA10 の各関節には荷重に対する安全装置として力センサが備わっており，一定の力を超えると緊急停止するシステムになっている．そのため，試作アダプターの長い手先形

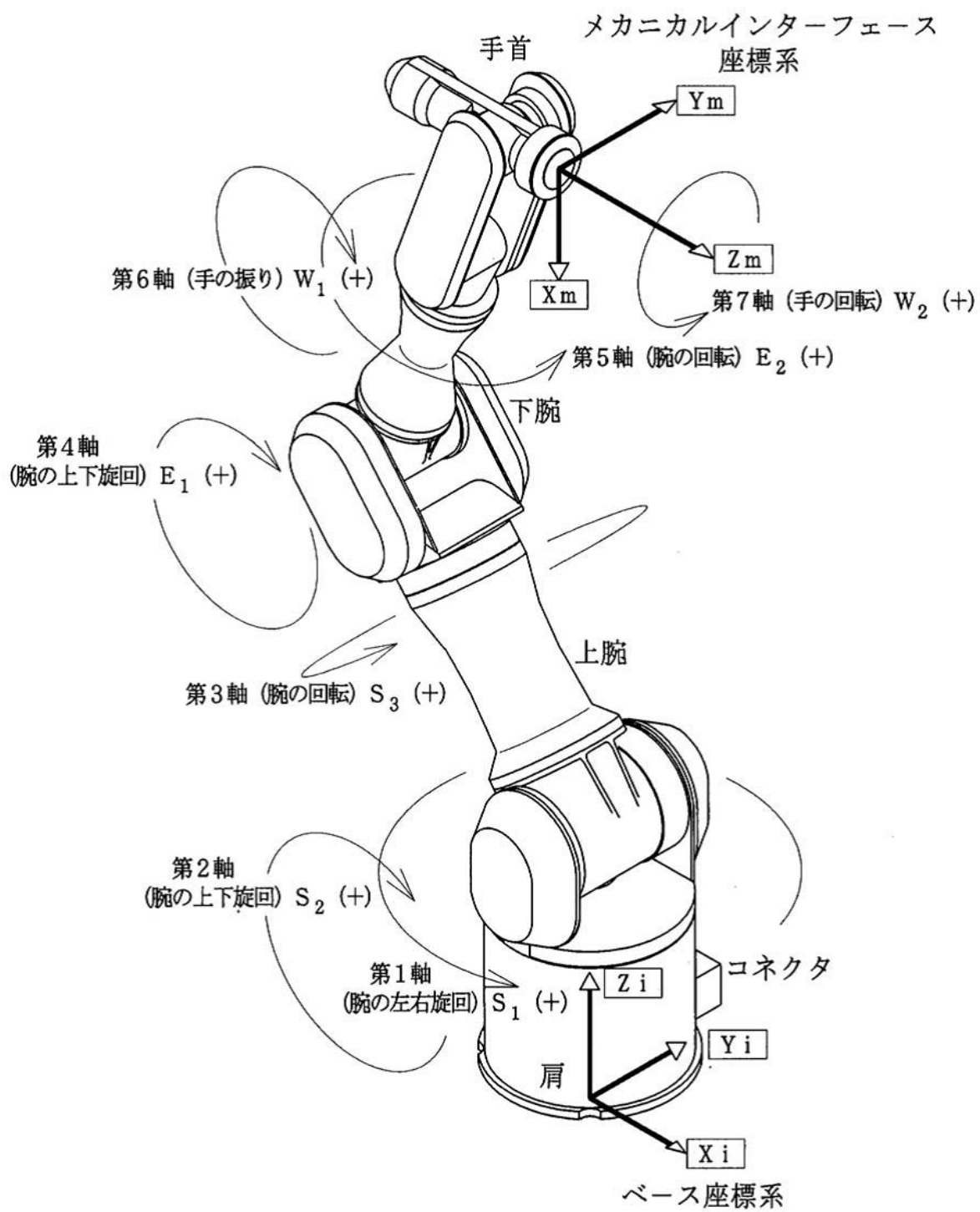
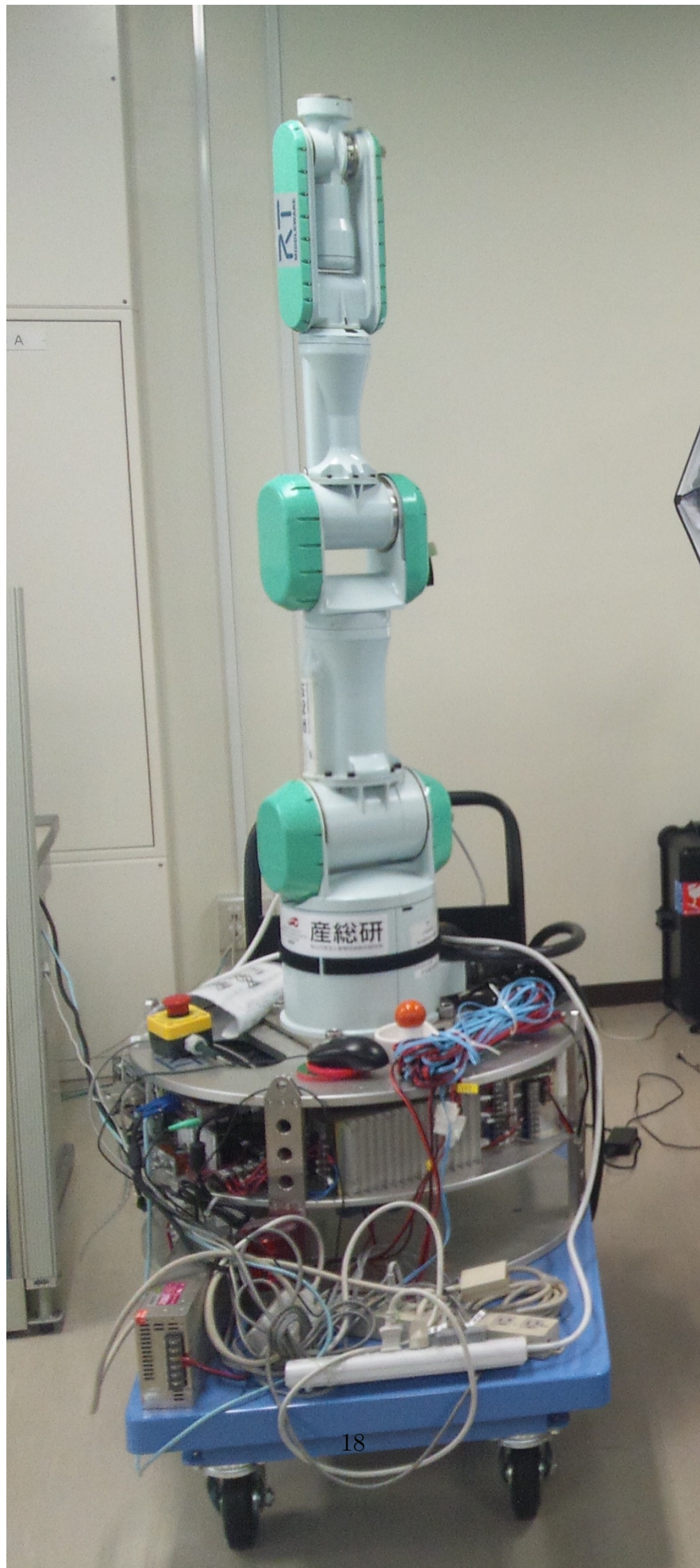


図 3.4: PA10 の概略図

項 目	仕 様				
名称	可搬式汎用知能アーム アーム本体				
型式	PA-10A-ARM				
形式	垂直多関節形				
構成	防塵・防滴構造（オプションにより防爆・防水構造）				
関節数	7				
関節構成	ロボット取り付け面より R-P-R-P-R-P-R （Rは回転関節，Pは旋回関節を示す）				
関節名称	ロボット取り付け面より S1-S2-S3-E1-E2-W1-W2 （Sは肩関節，Eは肘関節，Wは手首関節を示す）				
アーム長	肩リーチ：315 [mm]（ベース面～S2間） 上腕：450 [mm]（S2～E1軸間） 下腕：500 [mm]（E1～W1軸間） 手首リーチ：80 [mm]（W1～メカニカルインタフェース面間）				
関節動作範囲 及び 最高動作速度	軸名称	リミット [°]			最高動作速度 [rad/sec]
		メカリミット	サーボリミット	ソフトウェア リミット	
	S1（回転）	±180	±178	±177	±1
	S2（旋回）	±94	±92	±91	±1
	S3（回転）	±180	±175	±174	±1
	E1（旋回）	±143	±138	±137	±2
	E2（回転）	±270	±256	±255	±2π
	W1（旋回）	±180	±166	±165	±2π
	W2（回転）	±無限回転	±361	±360	±2π
最大合成速度	1550 [mm/sec]				
可搬重量	10 [kgf]				
駆動方式	ACサーボモータ 無励磁作動形ブレーキ・ブラシレスレゾルバ付				
センサ	出力軸ブラシレスレゾルバ				
周囲温度	0～50 [°C]				
湿度	30～90 [%] RH（ただし結露なきこと）				
本体重量	35 [kgf]				
外観	アルミ地肌塗装仕上げ				
塗装色	ボディ：パステルホワイト（日本塗料工業会 S10-733） カバー：パステルグリーン（日本塗料工業会 S38-552）				

表 3.1: PA10 の仕様



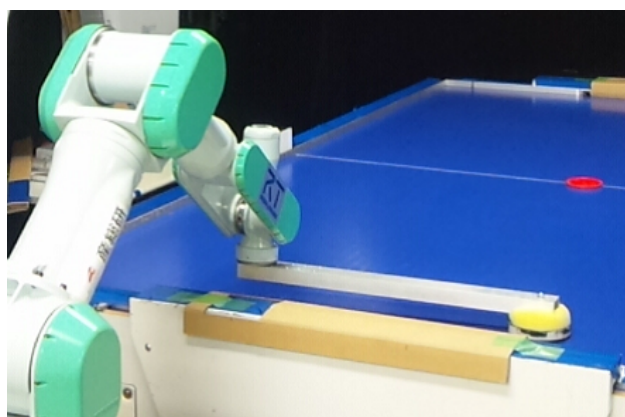


図 3.6: 開発した長い手先

状による下に押し付ける力は、大きなモーメントとして手先の負担となり、稀に緊急停止を引き起こした。そこで、図 3.7 のように直接下に抑えつけるアダプターを新たに作成し、この緊急停止の問題を解決した。

高速カメラ

高速で移動するパックを検出するために、高速なカメラを用いる。高速カメラ (MV-D640C-66-CL-10, Pho-tonfocus) はホッケー台上部に設置する図 3.2。カメラのフレームレートは 120[fps] に設定しており、パックの位置の高速な検出を可能としている。カメラのシャッタースピードを上げると画像は暗くなるため、ホッケー台の長辺横に 100[V]/36[W] の電球型蛍光灯を計 10 個配置し、明るさを調整している。

測域センサ

対戦相手のマレット位置の検出、キャリブレーション時に PA10 のマレット位置の検出を行うために、ホッケー台の X 負端に測域センサ (UTM-30LX, 北陽電機) を図 3.8 のように設置している。測域センサの走査時間は 25[msec] であり、マレットの位置を 1 秒間に 40 回検出している。



図 3.7: 新しく開発した手先

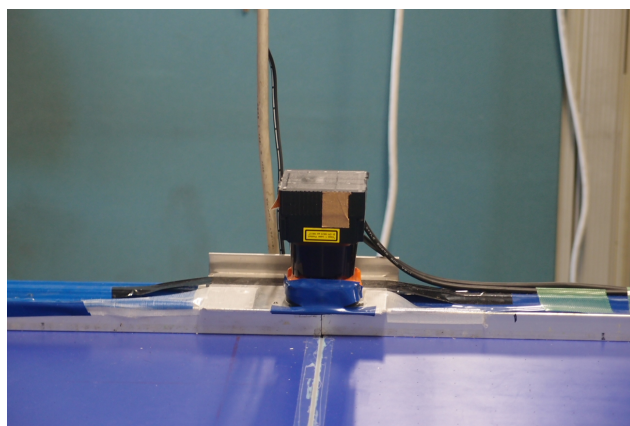


図 3.8: 測域センサ

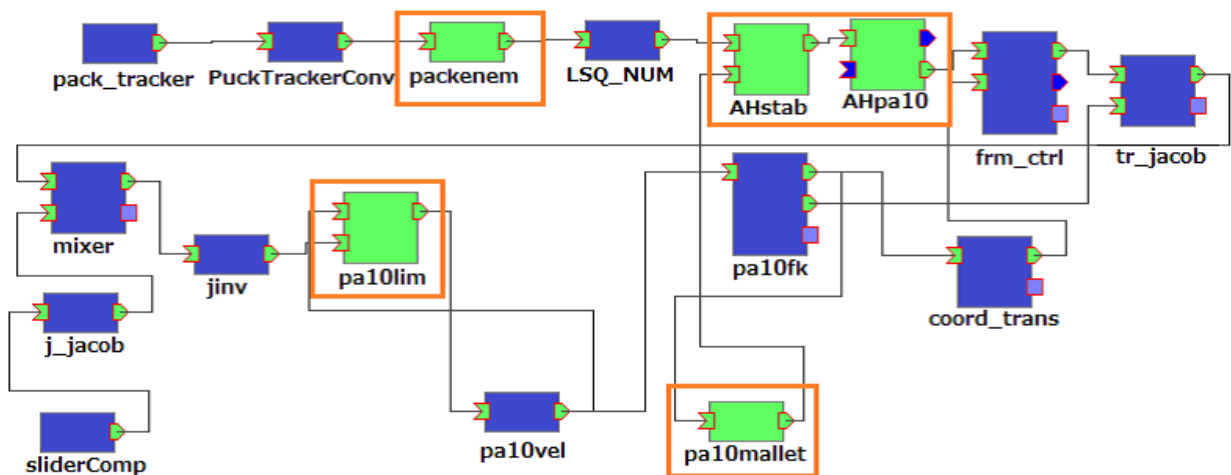


図 3.9: コンポーネント接続図 (PA10 ホッケー)

3.2 システム構成

本研究では、RT ミドルウェア [31] [32] というネットワーク分散コンポーネント化技術による共通プラットフォームを用いてソフトウェアを構成している。ある機能を持つプログラムを RTC と呼ばれるモジュールとして作成し、その RTC を他の機能を持つコンポーネントを組み合わせることで、全体でひとつのシステムとして構成することができる。各コンポーネントのポート間で互いのコンポーネントを接続することができ、コンポーネント間でデータのやり取りが行われ、システムの構成が完成する。RTC は C++ や python 等の複数の言語に対応しているため、開発者の好きな言語でコンポーネントを開発し、それを別の開発者が利用することができる。

3.2.1 コンポーネント構成

図に PA10 でエアホッケー対戦動作を行う際のコンポーネントの全体図を図 3.9 に、図に PA10 でエアホッケー動作を行う前のキャリブレーション時の全体図を図 3.10 に、図に 2 関節のエアホッケーロボットの対戦動作を行う際のコンポーネントの全体図を図 3.11 に示す。

コンポーネントの内容を表 3.2 に示す。

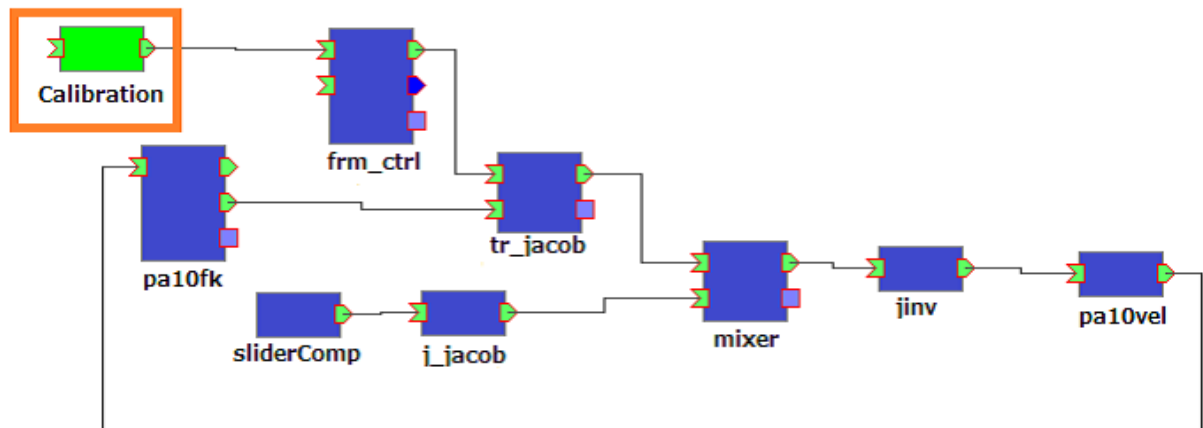


図 3.10: コンポーネント接続図 (キャリブレーション)

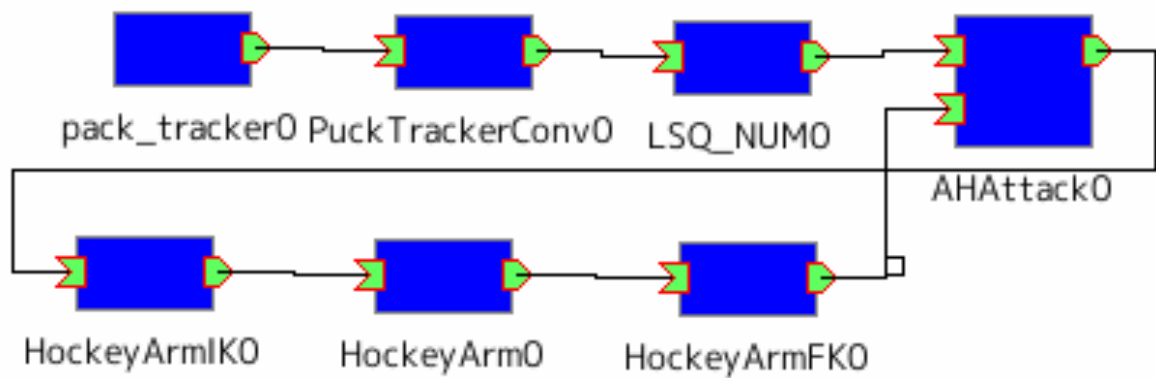


図 3.11: コンポーネント接続図 (2 関節ロボット)

RTC名	機能
pack_tracker	パックの位置を検出する
PuckTrackerConv	パック位置(XY)を出力する
packenem	パックの符号を反転させる
LSQ_NUM	パック位置の補正とパック速度の計算
AHstab	対戦アルゴリズム
AHpa10	対戦アルゴリズムをPA10に適應する
frm_ctrl	手先の軌跡を制御する
tr_jacob	pa10fkのヤコビアン出力を座標変換する
mixer	並進, 回転速度指令値をそれに対応するヤコビアンの行とマージして出力する
ilrv	手先の並進速度, 回転速度とヤコビ行列を用いて各軸の角速度の算出を行う
pa10lim	PA10velに送られる各軸角速度, 角度を制限する
pa10vel	PA10の動作制御を行う
pa10fk	PA10の順運動学の計算を行う
coord_trans	pa10fkの手先座標系出力を座標変換する
j_jacob	sliderからの出力を関節角速度指令として受け取り, 関節角のヤコビアンと合わせて出力する
sliderComp	グラフィック表示されたスライダバーを動かすことで, 外部に実数値を出力する
pa10mallet	pa10の手先位置からマレットの位置情報を出力する
Calibration	自動でマレットを動かし, キャリブレーションを行う
HockeyArmIK	目標マレット位置から2関節ロボットの逆運動学でアームの各関節速度を求める
HockeyArm	2関節ロボットの動作制御を行う
HockeyArmFK	2関節ロボットのアームの各関節角度から順運動学でマレット位置を求める

表 3.2: コンポーネントの内容

本研究室で以前から作られている対戦アルゴリズムを, PA10でも動作できるように, 変換コンポーネントを作成し, 適應できるように図った. 本研究を行う際に作ったコンポーネントは以下である.

- ・ pacenem

パックのホッケー台上での x,y 座標を受け取り, 正負の反転とキャリブレーションで得られた行列から座標変換を行い, x,y 座標として出力する.

- ・ AHstab

ここではひとつの例として AHstab という安定的戦術の対戦アルゴリズムを用いているが, この部分を攻撃的戦術, 防御的戦術に入れ替えることにより様々な対戦アルゴリズムを動作させることができる. 対戦アルゴリズム RTC は, 現在のパックの位置, マレットの位置を入力とし, アルゴリズムが指令する目標マレット位置を出力とする構成になっている. このコンポーネントは PA10 と 2 軸ロボットで同じものを使用することができる.

- ・ AHpa10

目標マレット位置を入力とし, PA10 でその目標マレット位置に移動する場合の目標手先座

標，角度を出力する．

- ・ pa10mallet

PA10 の現在手先座標を，ホッケー台上の現在マレット座標に変換する．

- ・ Calibration

手先を自動で動かし，キャリブレーションをするためのホモグラフィ行列を出力する．

3.3 まとめ

以上のシステムにより，エアホッケーロボットは実装されている．本研究では，新たに汎用ロボットアームを用いて，ロボット同士のエアホッケー対戦システムを作成した．また，RT ミドルウェアを用いることにより，対戦アルゴリズムのみを作成すれば PA10 や 2 軸のロボットの両方で動作させることができる，再利用性の高い環境を作ることができた．

第4章 実験

4.1 シミュレータ上での動作実験

本研究では，戦術同士の対戦を評価するために，PA10 にエアホッケー動作を行わせた．その過程について述べる．

4.2 エアホッケーシミュレーションでの実験

作成した対戦アルゴリズムをシミュレーション上で対戦させ，ゴールした回数を調べた．

4.2.1 エアホッケーシミュレーションでの実験結果

図 4.1 のようなエアホッケーシミュレーションを用いた．マレット位置を直接描写し，マレット位置のみをシミュレーションする．

攻撃戦術，防御戦術，安定戦術をエアホッケーシミュレータ上で，それぞれ1時間対戦させた．得点は

攻撃的戦術:安定的戦術は 51:52

防御的戦術:攻撃的戦術は 39:37

防御的戦術:安定的戦術は 42:41

失点の原因はアルゴリズム上，マレットの動きが一瞬止まるときがあり，その時に，パックを見逃してしまった時などに起こっていた．シミュレーションの理想的な環境下ではその失点の原因に動作の違いによる隙きなどが見られなかったため，有意な差は見られなかったと判断した．実機ではパックに及ぼされる抵抗や，トラッキングの誤差などによりパックの

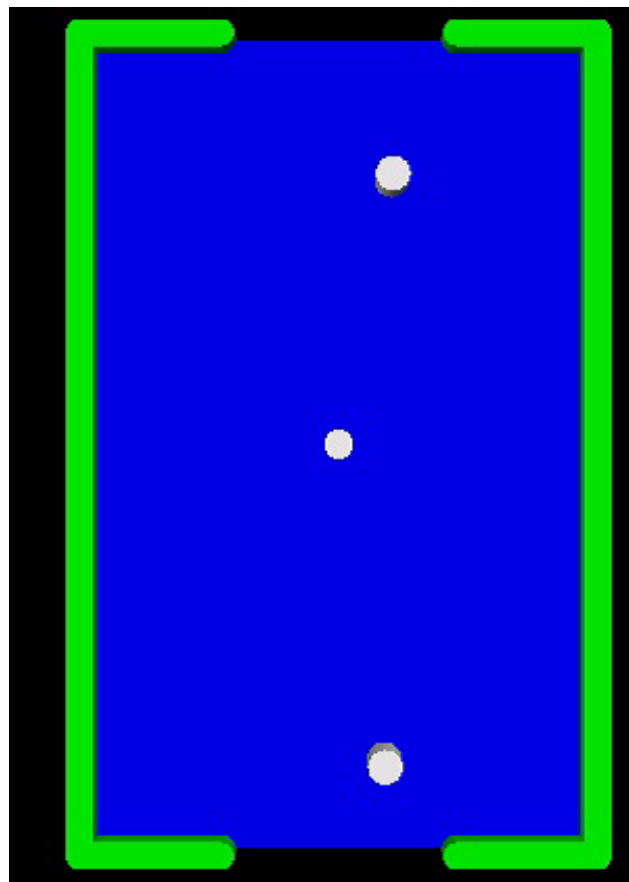


図 4.1: エアホッケーシミュレーション

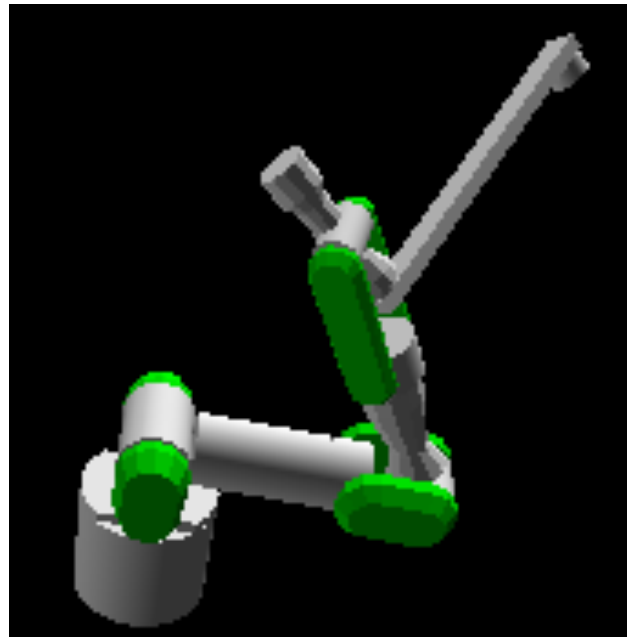


図 4.2: 特異点に入った PA10

予想地点に僅かな誤差が生まれ，アームの可動範囲，遅れなどから隙が生じやすくなると考えた．このことは人間にも同じようなことが起こると考え，戦術による有利不利の差が生まれると思い，実機にて実験を行った．

4.3 実機実験

4.3.1 特異点の回避

実機実験の前準備として，シミュレータでの動作確認を行った．PA10 をシミュレータ上でエアホッケー動作を行わせている際に，特異点に入り，図 4.2 のように逆関節状態になる問題が発生した．PA10 の動ける関節角度の範囲を制限するコンポーネント `pa10lim` を追加し，第 4 軸をエアホッケー動作の時のみに負の値を取らないようにし，万が一腕が伸びきり特異点に入っても逆関節状態を回避できるシステムにした．

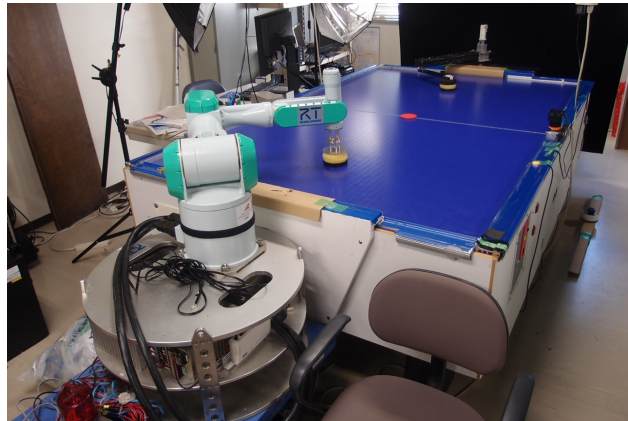


図 4.3: ロボット同士の対戦

4.3.2 PA10 の速度制限

PA10 がエアホッケー動作を行う際には、高速で移動する。また、PA10 には各関節ごとに角速度の制限が存在する。その際に 1 つの関節角のみが速度制限にかかってしまうと、その関節のみが減速し、他の関節は通常に動く。そのため手先の軌道が思い通りに描かなくなってしまう問題が発生した。この問題を解決するために、すべての関節を平等に減速することで軌道をプログラム通りに描くように制限を導入した。その結果異常な動作は改善された。

4.3.3 PA10 のホッケー台上でのキャリブレーション

ホッケー台上で PA10 の手先を動かし、そのマレットの動きを MalletTracker にて位置検出を行い、ロボットの内部での座標とホッケー台上での座標を記録し、これらからホモグラフィ行列を求める。求まった行列を pacenem コンポーネントに導入し、画像から得られた座標を変換する。

4.3.4 PA10 と 2 関節ロボットとの対戦

PA10 と 2 軸ロボットアームを図 4.3 のように対戦させた。パックは始めは 2 関節ロボットの中心部に向け飛ばした。

4.3.5 実機実験結果

実機にて打ち返し動作を行った。PA10の動作速度は遅いが、パックに追いつき、打ち返すことはできた。前に押し出す速度が不足しているため、パックの打ち返し初速度は遅く、エアホッケー台の抵抗に負け速度を失う事があった。観測できた最大ラリー回数は2回であった。そのため、戦術同士の評価をするには至らなかった。

4.4 まとめ

今回提案した戦術は、シミュレーションという理想的な環境下では有利不利の差が生じないものであった。シミュレーション時に失点するときは、ラグやアルゴリズム上一瞬静止する時があり、その時に起こるものであった。実機においては隙が生じやすくなるいと考え、戦術の有利不利の差が現れると考えた。PA10の実機での打ち返しに成功した。速度の問題があるため、最大ラリー回数は2回であった。よって戦術同士を評価するまでには至らなかった。

第5章 結言

本研究では複数の対戦戦術を作り，それらの戦術同士を対戦させることを目的として実験を行った．実験結果については，シミュレーションにおいて今回提案した戦術同士には有利不利の相性が存在しないことがわかった．それは，今回提案した戦術における動作は，シミュレーションという理想的な環境下であったため，人間にも起こると予想される隙がほとんど存在せず，少しのラグや，アルゴリズムによる遅延のみをつかれ点が入ることとなった．それを踏まえ，実機における実験を行った．

実機実験では，ロボット同士を対戦させ，新たに汎用ロボットアーム PA10 を用いてエアホッケー動作を行った．RT ミドルウェアを活用することにより，同じ戦術のコンポーネントを，2 関節のロボットと PA10 との両方につなぎ替えるだけで簡単に戦術を変えることのできるシステムになった．

打ち返し動作をすることには成功したが，戦術を評価できるほどのラリーを続けることができなかった．

今回提案した戦術では，攻撃動作と防御動作時では，防御動作の位置まで2つの動作は同じ経路をたどる．防御位置まで間に合う事ができれば，失点を防ぐことができるのは両方同じであり，差が生まれなかった原因と考えられる．攻撃動作や防御動作において，台の端に来たパックに対しロボットが間に合うことができなければ，また構え位置に戻る．結果のみを見ると無視動作にほぼ等しい．上記の理由でシミュレータにおいては有利不利の差がでなかったと考えられる．

今後はマレットの位置予測や打ち返し動作などの根本的なアルゴリズムすらもお互いに異なった戦術を作成し，それぞれ対戦させることで，有利不利の差が生まれると考えられるので，これが同目標の課題である．実機実験においては，PA10 では速度の面で厳しいと考え

られるので、同じ大きさのエアホッケー台で行うのであれば、更に高速なロボットが必要である。

謝辞

本研究を行うにあたり、日頃よりご意見、ご指導いただきました、知能システム学講座 末廣尚士教授、工藤俊亮准教授、富沢哲雄助教に感謝いたします。

また、同じエアホッケーロボットグループとして、佐藤雄也さん、小川雅也さん、御堂丸圭介さんには先輩としてお世話になりました。

最後になりますが、研究や学生生活を過ごす中で、様々な面でお世話になった、知能システム学講座の皆様に感謝いたします。

参考文献

- [1] Darrin C. Bentivegna, Alws Ude, Christopher G. Atkeson, and Gordon Cheng, “Humanoid Robot Learning and Game Playing Using PC-Based Vision,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robot Systems, pp. 2449–2454, 2002.
- [2] 松下 左京, 並木 明夫, “ゲーム状況に応じた意思決定を行うエアホッケーロボットの開発,” 日本ロボット学会誌, Vol. 29, No. 10, pp. 954–962, 2011.
- [3] Bradley E. Bishop and Mark W. Spong, “Vision-Based Control of an Air Hockey Playing Robot,” IEEE Control Systems Magazine, pp.23–32, 1999.
- [4] T. Iguchi, N. Katsuyama, H. Noborio, S. Hirai, “Computing and calibrating collision impulses and its application for air hockey game,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robot Systems, pp. 2219–2226, 2002.
- [5] Chad B. Partridge, Mark W. Spong, “Control of Planar Rigid Body Sliding with Impacts and Friction,” International Journal of Robotics Research, pp.336–348, 2000.
- [6] 覺張 陽則, “エアホッケーロボットの高速動作の制御と戦術の研究,” 電気通信大学 IS 研究科 U 専攻 2000 年度修士論文, 2000.
- [7] 学張 陽則, 羽田 芳朗, 高瀬 国克, “エアホッケーロボットの高速動作の制御と戦術の研究,” 第 18 回日本ロボット学会学術講演会, pp. 279–280, 2000.
- [8] 覺張 陽則, 羽田 芳朗, 高瀬 國克, “人間との対戦能力を有するエアホッケーロボットの開発,” 電気学会システム制御研究会, pp. 71–76, 2001.

- [9] 牧野 道德, “エアホッケーロボットのためのハンドアイ協調動作の研究,” 電気通信大学 IS 研究科 U 専攻 2007 年度修士論文, 2007.
- [10] 牧野 道德, 根来 寿, 賈松 敏, 中後 大輔, 高瀬 國克, “PC ベースの高速画像処理を用いたエアホッケーロボットの開発,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'07, 1A2-C07, 2007.
- [11] 牧野 道德, 根来 寿, 賈松 敏, 中後 大輔, 高瀬 國克, “PC ベースの高速画像処理を用いたエアホッケーロボットの開発 第 2 報: ハンドアイ協調による動作システムの実装と評価,” 計測自動制御学会第 8 回 SICE システムインテグレーション部門講演会, 2C2-3, 2007.
- [12] 那順 巴音, “エアホッケーロボットの攻撃戦略,” 電気通信大学 IS 研究科 MS 専攻 2010 年度修士論文, 2010.
- [13] 那順 巴音, 富沢 哲雄, 末廣 尚士, “エアホッケーロボットの攻撃戦略,” 第 10 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1N1-1, 2009.
- [14] 御堂丸 圭介, 富沢 哲雄, 工藤 俊亮, 末廣 尚士, “エアホッケーロボットの止め打ち動作,” 第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 3B1-3, 2011.
- [15] 御堂丸 圭介, 富沢 哲雄, 工藤 俊亮, 末廣 尚士, “エアホッケーロボットの止め打ち動作の実現,” 第 13 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1A1-7, 2012.
- [16] 御堂丸 圭介, “エアホッケーロボットの止め打ち動作の実現,” 電気通信大学 IS 研究科 MS 専攻 2012 年度修士論文, 2012.
- [17] 佐藤 雄也, 富沢 哲雄, 工藤 俊亮, 末廣 尚士, “相手の行動を観察・学習し真似をするエアホッケーロボットの開発,” 日本ロボット学会学術講演会, 4F1-4, 2012.

- [18] 佐藤 雄也, 富沢 哲雄, 工藤 俊亮, 末廣 尚士, “相手の行動を観察・学習し真似をするエアホッケーロボットの開発-戦略の模倣に向けたパックの打点・速度に基づく人間の行動解析-,” 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1A1-6, 2012.
- [19] 佐藤 雄也, “相手の行動を観察・学習し真似をするエアホッケーロボットの開発,” 電気通信大学IS研究科MS専攻2012年度修士論文, 2012.
- [20] Wen J. Wang, I. Tsai, Zhi D. Chen and Guo H. Wang, “A Vision Based Air Hockey System with Fuzzy Control,” IEEE International Conference on Control Applications, Vol.22, No. 4, pp. 754–759, 2002.
- [21] C. Delgado-Mata ,J. Ibanez, “Air hockey iOS Game that Uses Fuzzy-Logic for Game-Balancing,” Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence, pp. 272–277, 2012.
- [22] Darrin C. Bentivegna, Christopher G. Atkeson, “A Framework for Learning from Observation using Primitives,” 日本ロボット学会誌, Vol. 22, No. 2, pp. 176–181, 2004.
- [23] M. Ogawa, S. Shimizu, T. Kadogawa, T. Hashizume, S. Kudoh, T. Suehiro, Y. Sato, and K. Ikeuchi, “Development of air hockey robot improving with the human players - arm control for effective quick draw taking an opponent’s eye movement into account-,” IEEE Industrial Electronics Society, pp. 3364–3369, 2011.
- [24] M. Ogawa, Y. Sato, S. Shimizu, T. Tomizawa, S. Kudoh, and T. Suehiro, “Towards air hockey robot with tactics -statistical analysys from measurement of eye movement-,” IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp. 34–39, 2012.
- [25] 松下 左京, 大関 隆寛, 並木 明夫, “エアホッケーロボットにおけるゲーム状況判断とキャッチング動作,” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011, 2A1-F10, 2011.

- [26] Y. Arai, S. Kagami, and K. Hashimoto, “Experimental studies on prediction in air hockey games,” IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 112–117, 2011.
- [27] F.F. Mueller, L. Cole, S. O ’ Brein and W. Walmink, “Airhockey Over a Distance - A Networked Physical Game to Support Social Interactions,” International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, 2006.
- [28] H. Matsuura, N. Abe, K. Tanaka, and H. Taki, “Constructing virtual air hockey game through the network,” International Conference on Advanced Information Networking and Applications, pp. 642–646, 2006.
- [29] T. Ohshima, K. Sato, H. Yamamoto, H. Tamura, “AR2Hockey: A case study of collaborative augmented reality,” IEEE Virtual Reality Annual International Symposium, pp. 268–295, 1998.
- [30] D. Flores, S. Castro, and S. Martig, “Multimice air hockey. A Game with a low-cost non-conventional Interface,” Journal of Computer Science and Technology, Vol. 10, No. 2, pp. 81–85, 2010.
- [31] OpenRTM-aist official website: <http://www.openrtm.org/openrtm/ja/content/openrtm-aist-official-website>, (参照 2013-01-24).
- [32] N. Ando, T. Suehiro, K. Kitagaki, T. Kotoku and W. Yoon, “RT-middleware: distributed component middleware for RT (robot technology),” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.3933–3938, 2005.